مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ بیست و یکم، پاییز زمستان ۱۳۹۲

بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد

سید رضا حسین‌زاده (دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد)
srhosszadeh@um.ac.ir
رضا دوستان (استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد)
reza_doostan@yahoo.com
سیده مرضیه حقیقت ضیابری (کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسؤول)
rosehagh@yahoo.com
سیده مریم حقیقت ضیابری (کارشناس ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)
maryam_haghighat63@yahoo.com

چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات فناوری عصر حاضرمی‌باشد. از آنجاییکه کلانشهر مشهد با این بحران شهری مواجه است، هدف مطالعه حاضر شناسایی الگوهای جوی مؤثر بر آلودگی هوای شهر مشهد طی دوره آماری ۱۳۸۹–۱۳۸۶می‌باشد. سوال پژوهش این است که آیا سامانه‌های جوی که وارد شهر مشهد می‌شوند در تشدید آلودگی هوا تاثیر گذارند؟ برای شناسایی الگوهای موثر در ایجاد آلودگی در روز دو آلاینده مونوکسیدکربن (CO) و مواد معلق (PM_{10}) در نیمه سرد سال، داده‌های روزانه فشار سطح دریا (SLP) و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌کار گرفته‌شد.همچنین از روش‌های چندمتغیره، تحلیل مؤلفه اصلی(PCA) و خوشه بندی(CL) استفاده‌شد و این روزها در ۵ گروه قرار گرفت و برای هر گروه، نقشه‌های مرکب از داده‌های سطح متوسط دریا (SLP) و ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه و تفسیر همدید گردید. نتایج نشان داد وجود ناوه در اطراف دریاچه آرال، موجب ریزش هوای سرد به شمال شرق ایران شده‌و در سطح زمین موجب قوی‌تر شدن پرفشار سیبری گردیده،از طرفی استقرار یک سامانه پرفشار در غرب ایران موجب ورود جریانات شمال غربی شده، که این الگوهای فشار موجب کاهش شدید دما و پایداری هوا، تراکم غلظت آلاینده‌ها در شهر مشهد شده است. همچنین وجود کم‌فشارها ، باعث ناپایداری و انتقال ذرات گردوغبار از بیابان‌های ترکمنستان به شهر مشهد شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: الگوهای فشار، آلاینده‌ها، تحلیل مولفه‌های اصلی، خوشه‌بندی، پایداری هوا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۵ تاریخ تصویب:۱۳۹۲/۱/۱۸

۱- مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین بحران‌های محیطی کلان‌شهرهای ایران است که طی چهار دهه اخیر زندگی این شهرها را پرهزینه و حتی خطرناک ساخته‌است(Hosseinzade, 2004: 4). گسترش شهرنشینی و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی از یک‌سو و تغییرات کاربری و توسعه صنایع از سوی‌دیگر، افزایش غلظت آلاینده‌ها در هوای شهرها را به‌دنبال داشته‌است. اقلیم‌شناسی همدید یکی از مهم‌ترین شاخه‌های آب و هواشناسی است که به مطالعه روابط الگوهای فشار و اقلیم محلی و منطقه‌ای می‌پردازد، در این شاخه‌ی اقلیم‌شناسی، از دو روش مطالعاتی گردشی به محیطی و محیطی به گردشی استفاده می‌شود و با طبقه‌بندی الگوهای فشار، پدیدهای سطحی بررسی می‌شوند (Yarnal, 1993).

۲- پیشینهٔ پژوهش

تاکنون پژوهش‌های بسیاری درمورد اثر الگوهای همدید بر آلودگی هوا انجام شده‌است.در برزیل به بررسی ارتباط مقادیر بالای غلظت آلاینده و سیستم‌های پرفشار جنب حاره‌ای اطلس جنوبی پرداخته شده و نقش آن در تغییر الگوهای فشار منطقه پردازش گردید (Ccoyllo & Andrade, 2002). همچنین مطالعه در مورد غلظت آلاینده‌های ازن اتمسفری (O3)، دی‌اکسید نیتروژن(NO2)، مونواکسید نیتروژن(NO) و مونواکسیدکربن(CO) مربوط به پارامترهای اقلیمی شهر نانجینگ چین از ژانویه ۲۰۰۰ تا فوریه ۲۰۰۳ نشان داده‌است که تغییرات آلاینده‌ها به شرایط اقلیم محلی مربوط می‌شود؛ به‌طوری که بین دما و سرعت باد با ازن وردسپهری همبستگی منفی و معنی داری وجود داشته‌است و دما و سرعت باد با سه آلاینده دیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته اند. در تابستان ازن تمرکز بالایی داشته‌است دورواقع تغییرات این آلاینده‌ها از موسمی آسیایی بسیار تأثیر پذیرفته‌است(Tu & et al., 2007). علاوه براین ارتباط روزهای آلوده در یونان و شرایط همدیدی نشان داده‌است بیشتر دوره‌های آلودگی جوی در فصل زمستان رخ می‌دهد؛ به‌طوری‌که در شمال یونان بالاترین میزان آلودگی با حاکمیت یک واچرخند ارتباط داشته‌است(Flocas & et al., 2009). با بررسی الگوهای

کنترل‌کننده آلودگی هوا در ۱۰ شهر اصلی شمال چین معلوم شد در این منطقه بین آلودگی و سامانه‌های فشار رابطه قوی وجود دارد. همچنین در منطقه مطالعاتی مورداشاره، سامانه‌های واچرخندی در سطح زمین و شرایط دینامیکی عقب ناوه درسطوح بالای جوی به عنوان عامل اصلی تراکم آلاینده‌ها شناسایی گردید(Chen & et al., 2008). در پژوهش انجام‌شده در آلمان نیز ارتباط تیپ‌های واچرخندی حوضه کارپاسین و جنوب آلمان با تشدید آلودگی هوای شهر سوخو و اثر جریانات مداری بر کاهش آلودگی‌ها تأیید شده‌است (Makra & et al., 2006). شهر تهران در دوره سرد سال، به دلیل فراوانی بالای وقوع وارونگی‌های دمایی(اینورژن)، استقرار واچرخندها و باد غالب غربی، هوای آلوده‌تری دارد، علاوه براین در موارد محدودی بادهای شرقی آلاینده‌ها را به نواحی مرکزی می‌کشانند(صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵).بررسی ها در تهران نشان می دهد که آلاینده مونوکسیدکربن (CO) دارای دو بیشینه در فصول زمستان و تابستان می‌باشد، یکی در صبح و دیگری در شب. با بررسی الگوهای فشار در دوره آلودگی معلوم شد روزهای آلودگی شدید با وارونگی شدید دمایی و افزایش فشار در سطح زمین همراهند که این امر ناشی از پایداری جو، کاهش سرعت باد و افزایش نسبی دمای جو است(بیدختی و شرعی پور، ۱۳۸۸). مطالعه سامانه‌های همدیدی مؤثر بر تشدید و یا کاهش آلودگی‌های شهر تهران در یک دوره ۹ ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۹) نشان داده‌اند هم‌زمان با تضعیف سامانه پرفشار روی خزر و تقویت و گسترش پشته ارتفاعی تراز میانی روی تهران و عرض‌های جغرافیایی بالاتر، آلودگی افزایش یافته‌است(رنجبر سعادت‌آبادی و محمدی محمدیان، ۱۳۸۹). با توجه به موارد اشاره‌شده در پژوهش، سامانه‌های همدیدی مؤثر بر آلودگی هوای کلان‌شهر مشهد موردمطالعه قرار گرفته‌اند.

۳- روش تحقیق

داده‌های پژوهش حاضر، مشتمل بر داده‌های روزانه آلودگی شهر مشهد (ایستگاه وحدت) طی یک دوره ۴ ساله (۱۳۸۹-۱۳۸۶) است که از سازمان حفاظت محیط زیست استان خراسان

رضوی تهیه شده‌اند، حد استاندارد آلاینده‌ها با شاخص استاندارد کیفیت هوا[1]، تعیین گردیده‌اند و درنهایت روزهای آلوده به دو آلاینده مونوکسیدکربن و ذرات معلق مشخص شده‌اند. با توجه به پردازش نخستین داده‌ها و فراوانی بالای روزهای آلوده به CO و PM_{10} در نیمه سرد سال، فقط داده های دو فصل پاییز و زمستان تجزیه و تحلیل شده‌اند. مونواکسید کربن دارای ۲۹ روز آلوده در پاییز و ۲۳ روز آلوده در زمستان می‌باشد و ذرات معلق شامل ۷۴ روز آلوده در پاییز و ۶۳ روز در زمستان بوده‌اند. به منظور شناسایی الگوهای جوی روزهای آلوده‌ی نیمه سرد سال، داده‌های فشار سطحی و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، از تارنمای[2] مرکز ملی پیش‌بینی محیطی[3] و مرکز ملی پژوهش‌های هواشناسی[4] در قلمرو با تفکیک مکانی ۲/۵ X۲/۵ درجه مشتمل بر۲۸۵ یاخته ۲/۵ درجه‌ای دریافت شده‌اند. سپس برای شناسایی الگوهای جوی، از روش تحلیل مؤلفه اصلی[5] استفاده‌گردید، به منظور شناسایی الگوهای گردشی در زمان رخداد پدیده روزهای آلوده به مونواکسیدکربن و ذرات معلق در شهر مشهد مراحل زیر دنبال شد؛ در مرحله نخست، داده‌ها در تحلیل مؤلفه اصلی به حالت s تبدیل شدند که در این حالت آرایه و گره‌ها به عنوان ستون‌ها و ردیف‌ها نشان‌دهنده مشاهدات(روزها) بودند. سپس روش تحلیل مؤلفه اصلی برای هر یک صورت گرفت. در این روش با استفاده از روابط خطی گره‌ها (داده‌های ارتفاعی) طی دوره موردمطالعه، نقاط با همبستگی بالا تعیین می‌گردد و محدوده‌های همگن فضایی مشخص می‌شود (علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۷). به عنوان نمونه (جدول ۱) آرایه مربوط به آلاینده مونوکسیدکربن در فصل پاییز را نشان می‌دهد که برای سایر داده‌ها نیز به همین ترتیب آرایه تهیه شد.

---

1. Air Quality Index (AQI)
2. www.cdc.noaa.gov
3. National Center Environmental Prediction
4. National Center Atmospheric Research
5. Principle Component Analysis

جدول ۱: نمونه آرایه اولیه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال برای مونوکسید کربن(co) در فصل پاییز

گره‌ها روزها	۲۰N -۲۵E	۲۰N -۲۲,۵E	۲۰N -۲۵E	-	۵۵ N -۷۰E
۱	۵۵۷۰	۵۵۷۳	۵۵۶۰	-	۵۴۹۰
۲	۵۵۷۲	۵۵۷۵	۵۵۶۲	-	۵۴۹۲
۳	۵۵۷۵	۵۵۷۱	۵۵۶۵	-	۵۴۹۱
-	۵۵۷۳	۵۵۷۶	۵۵۶۷	-	۵۴۹۰
۲۹	۵۵۷۱	۵۵۷۳	۵۵۷۰	-	۵۴۹۳

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

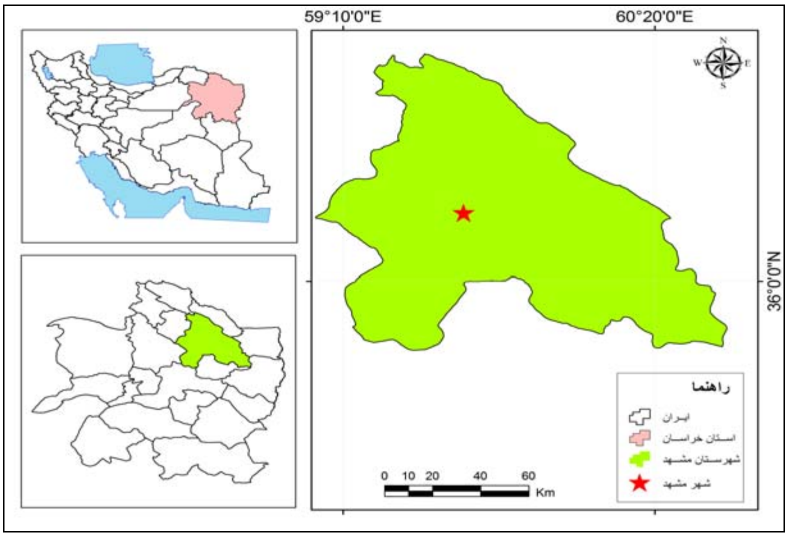
درادامه برپایه همبستگی داده‌های هر آرایه، عامل‌های اولیه تعیین شدند که این نشان می‌دهد هر عامل، چند درصد از پراش داده‌ها را توجیه می‌کند. در این آرایه ارزش هرکدام از گره‌ها در عامل‌های جدید مشخص شده‌اند. در مرحله بعد با روش تحلیل مؤلفه اصلی، ارزش هر یک از روزها برپایه عامل‌های جدید تعیین شد که به نمرات عاملی[1] معروفند. در این مرحله از بین عوامل موجود، مواردی انتخاب شدند که ارزش ویژه آن‌ها بالاتر از ۱ بوده و بیش از ۴ درصد پراش داده‌ها را توجیه می‌کردند و این عوامل برای تعیین الگوهای فشار مورد استفاده قرار گرفتند. برای طبقه‌بندی الگوهای فشار از روش خوشه‌بندی با آرایه وارد[2] استفاده شد و روزهای آلودگی هوا برای دو آلاینده مونوکسیدکربن و ذرات معلق برای فصول پاییز و زمستان تعیین گردید. در پایان به‌منظورشناسایی الگوهای فشار، نقشه‌های مرکب روزهای هر گروه تهیه شد. این نقشه‌ها که برای سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه شده‌اند، نشان می‌دهند در شهر مشهد چه نوع الگوهای همدیدی، آلاینده‌های مورداشاره در فصل پاییز و زمستان را تشدید می‌کنند.

۳-۱- منطقه موردمطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی است که با مساحت تقریبی ۳۰۰ کیلومتر، پس از تهران دومین کلان شهر ایران محسوب می شود. این شهر از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال‌شرق ایران و در

1. pc Score
2. Clustering, Ward

۱۶´ و ۳۶° درجه عرض شمالی، ۳۷´ و ۵۹° درجه طول شرقی واقع شده‌است. ارتفاع آن از سطح دریا ۹۷۰ متر است. همچنین شهر مشهد در مکانی قرار گرفته‌است که امکان تخلیه هوا کم است. این شهر با ۲/۵ میلیون نفر جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران محسوب می‌شود(شکل ۱). برپایه آمار رسمی موجود، حدود ۴۳۰ هزار دستگاه خودرو در این شهر وجود دارد که بیشتر خودروها از سوخت فسیلی استفاده می‌کنند و در شهرک صنعتی نیز بیشتر از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود (شم آبادی، ۱۳۸۶: ۵۴).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۴- یافته‌های تحقیق

نیمه سرد سال دوره ناپایداری‌های جوی در ایران است زیرا بادهای غربی و الگوهای فشار مربوط به آن‌ها، اقلیم ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند(علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۷). براین‌اساس در فصل زمستان برای دو آلاینده مونوکسیدکربن و ذرات معلق به ترتیب ۵ و۷ عامل، بیشترین درصد پراش تجمعی را نشان داده‌اند(جدول۲). در ادامه نتایج خوشه‌بندی روزهای آلودگی

درمورد دو آلاینده منوکسیدکربن و ذرات معلق در نیمه سرد سال (پاییز و زمستان) نشان داده-است این روزها در ۵ خوشه قرار دارند.

جدول۲: آرایه تجمعی عامل‌ها باتوجه به درصد تبیین مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا در روزهای آلوده به منوکسید کربن و ذرات معلق

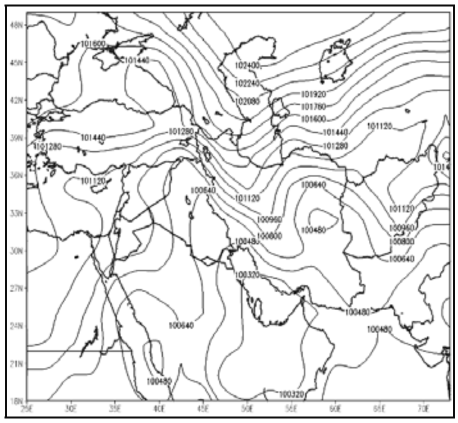
عامل	پاییز		زمستان	
	مونوکسیدکربن (co)	ذرات معلق(PM10)	مونوکسیدکربن (co)	ذرات معلق(PM10)
۱	۴۲	۴۲	۴۶	۳۰
۲	۵۷	۶۰	۶۲	۵۳
۳	۶۸	۷۱	۷۲	۶۶
۴	۷۹	۷۸	۸۲	۷۶
۵	۸۵	۸۳	۸۷	۸۱
۶	۹۰	۸۸	–	۸۶
۷	–	–	–	۸۹

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

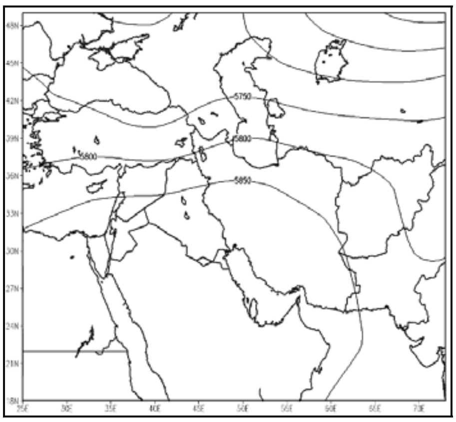
۴-۱- الگوهای فشار مونوکسیدکربن(فصل پاییز)

در ایران فصل پاییز شروع دوره سرد سال و گسترش بادهای غربی به عرض‌های پایین‌تر را به-دنبال دارد و شرایط جوی سطح زمین نیز در کنترل این جریانات قرار دارد. بدین منظور ابتدا هر یک از الگوهای همدید برای سطح بالا(۵۰۰ هکتوپاسکال) و سپس سطح زمین تشریح شده‌اند. همان-طورکه در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو یک مشاهده می‌شود، در شمال دریاچه آرال ناوه بادهای غربی مشاهده گشته‌اند که محور آن تا شمال دریای خزر امتداد یافته‌است. در این دوره خط هم‌ارتفاع ۵۸۰۰ ژئوپتانسل متر روی شهر مشهد قرار داشته و هنوز بادهای غربی در نیمه شمالی ایران وجود دارند. هم‌زمان با آن در سطح زمین، پرفشار قوی در شمال دریاچه آرال و دریای مازندران مشاهده می‌شود که زبانه‌های این پرفشار سرد به شمال ایران گسترش یافته‌است و خط هم‌فشار ۱۰۰۹ هکتوپاسکال بر روی شهر مشهد قرارگرفته‌است. الگوی شماره ۲ با ناوه کم‌عمق بادهای غربی در شمال‌شرق ایران و پشته کم‌عمقی در شمال‌غرب ایران نمایان گردیده‌است. هم‌زمان در سطح زمین

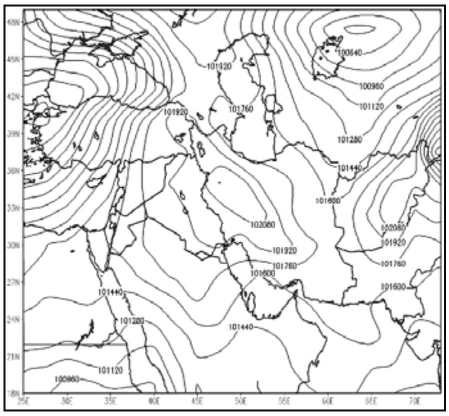
مرکز پرفشاری در روی کوه‌های زاگرس با هم‌فشار ۱۰۲۴ هکتوپاسکال و در شمال دریاچه آرال مرکز کم‌فشاری با هم فشار ۱۰۰۹ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که هم‌فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال از مشهد گذر کرده‌است. در این الگو، مشهد در منطقه بین الگو پرفشار و کم‌فشاری قرارداشته که جریانات سرد شمالی به ترتیب از غرب کم‌فشار و شرق پرفشار به مشهد وارد شده‌اند که با خود سرما و کاهش دما را به‌همراه‌دارند. همچنین در الگوی سوم، ناوه عمیق بادهای غربی در شرق دریای خزر دیده می‌شود و محور این ناوه تا شرق خراسان ادامه‌یافته‌است، هم‌زمان پشته پرارتفاعی روی دریای سیاه مربوط به مانع در بالای ترکیه ایجاد شده‌است. این شرایط همدیدی، ورود موج‌های سرد را از عرض‌های بالای روسیه در پشت ناوه و از شمال دریای سیاه به شمال‌شرق ایران و شهر مشهد به دنبال داشته‌است. همچنین در سطح زمین زبانه پرفشار از شمال دریای خزر و شمال غرب به ایران واردشده و هم فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال اکثر نقاط ایران را دربرگرفته‌است. ناوه عمیق بادهای غربی در شمال دریای سیاه در الگوی شماره ۴ قابل مشاهده‌است، هم‌زمان در غرب ایران، فراز کم ارتفاع بادهای غربی وجود دارد و بادهای غربی در ایران به‌صورت مداری بوده‌اند. این الگو در سطح زمین، پرفشار قوی در شمال شرق ایران تشکیل شده‌است که با پرفشار روی زاگرس در ایران ادغام شده‌است. در این الگو جریانات سرد از شمال و شرق دریای خزر به مشهد وارد شده است. شرایط موجود در الگوها باعث کاهش دما و پایداری هواو آلودگی‌های جوی در این شهر را به همراه داشته‌است که در شکل ۲) تا (۱۱) نشان داده‌شده‌اند.



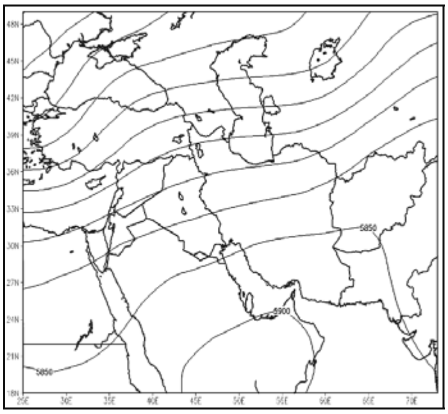
شکل ۲: الگو ۱(سطح slp)



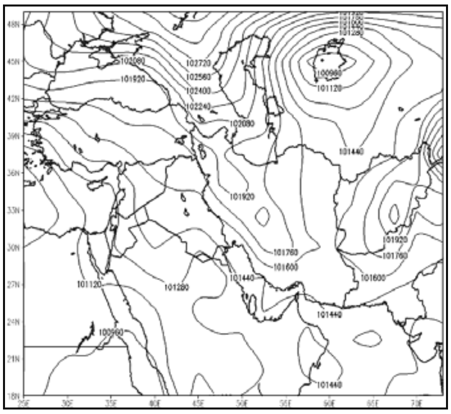
شکل ۳: الگو ۱(سطح hp۵۰۰)



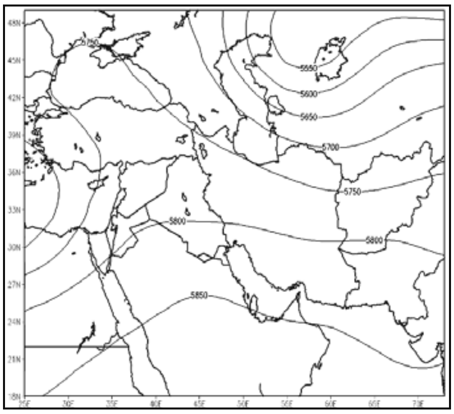
شکل ۴: الگو۲(سطح slp)



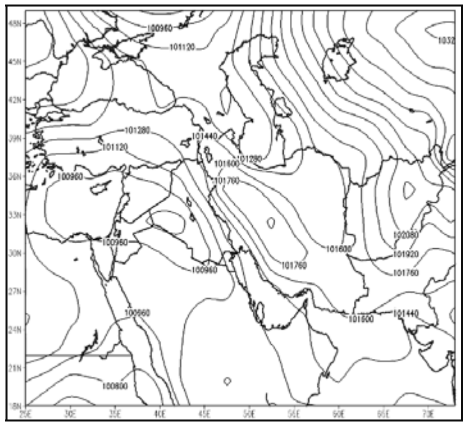
شکل ۵:الگو۲(سطح ۵۰۰hp)



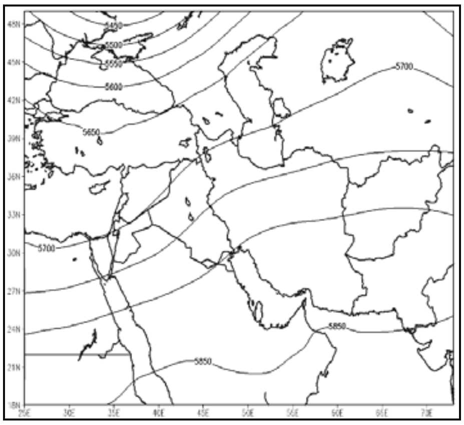
شکل ۶:الگو۳(سطح slp)



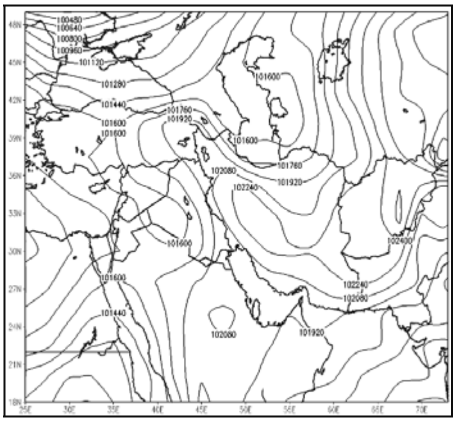
شکل ۷:الگو۳(سطح ۵۰۰hp)



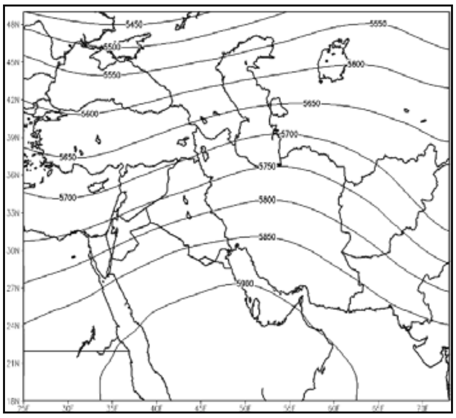
شکل ۸:الگو۴(سطح slp)



شکل ۹:الگو۴(سطح ۵۰۰hp)



شکل ۱۰:الگو۵(سطح slp)



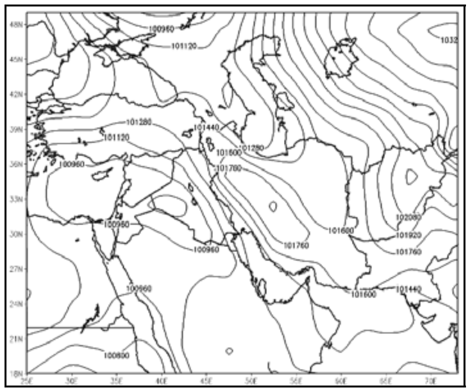
شکل ۱۱:الگو۵(سطح ۵۰۰hp)

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

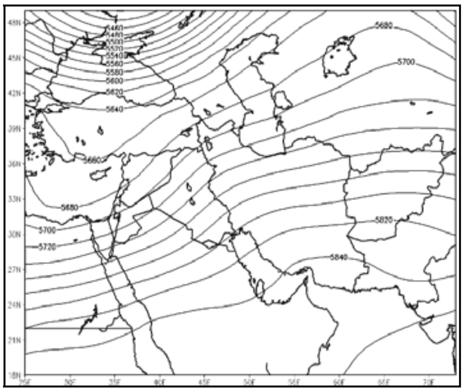
۴-۲- الگوهای فشار ذرات معلق (فصل پاییز)

به‌طورکلی بخشی از ذرات معلق در شرایط ناپایداری جوی ایجاد می‌شوند، بخشی ازاین ذرات، گرد و غبارهایی از بیابان‌های اطراف و بخش دیگری از ذرات خروجی کارخانه‌ها و منابع آلاینده غیر ثابت مانند خودروها وارد شهرها شده و سبب آلودگی جوی می‌گردند. به‌طوری‌که در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی اول، ناوه عمیق بادهای غربی در مدیترانه مرکزی تا شمال آفریقا کشیده‌شده و پشته بادهای غربی نیز در شرق ایران قابل‌مشاهده‌است. در سطح زمین مرکز کم‌فشاری در غرب قبرس قرار دارد که احتمالاً با مسیر اول واچرخندهای ایران انطباق داشته‌است(علیجانی، ۱۳۸۵)،این شرایط نشان‌دهنده ورود توده‌های هوای گرد و غبار از بیابان‌های فلات توران مانند قره‌قوم در ترکمنستان و سرخس در ایران به شهر مشهد بوده‌است. همچنین در الگوی شماره ۲، پشته بلند بادهای غربی تا روسیه مرکزی ادامه دارد، به‌طوری‌که محور پرفشار جنب حاره با هم ارتفاع ۵۸۵۰ متر تا شمال غرب دریای خزر کشیده‌شده‌است(حجازی زاده، ۱۳۷۶) و ناوه بادهای غربی در شمال شرقی ایران تا انتهای خراسان جنوبی امتداد یافته‌است. این شرایط همدیدی در سطوح بالا و سطح زمین، ورود توده‌های هوای گرد و غبار از بیابان‌های آسیای مرکزی در غرب کم‌فشار به شمال‌شرق ایران را به‌همراه‌داشته که بر میزان ذرات گرد و غبار در شهر مشهد افزوده‌است و آلودگی هوا را پدیدآورده‌است. در ادامه، پرفشار جنب حاره قوی با هم ارتفاع ۵۹۰۰ متری در الگوی سوم، تمام ایران را زیرپوشش قرارداده و ناوه قوی بادهای

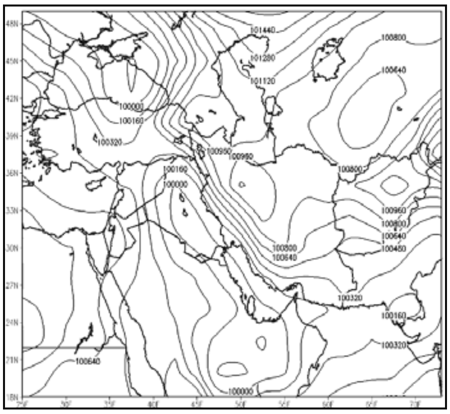
غربـی در آسـیای مرکـزی مشـاهده‌شـده‌اسـت، هـم‌زمـان در سـطح زمـین، پرفشـاری بـا هـم‌فشـار ۱۰۲۴هکتوپاسکال بر روی دریای خزر و ایران قرار دارد. همچنین در این الگو، ازیک‌سو جریانـات هـوا در شرق پرفشار، توده‌های هوای گرد و غبار را از غرب دریای خزر وارد مشهد کرده‌اند و از سوی دیگر باتوجه‌به شدت باد(شیب فشار) در بیابان‌های جنوبی و شکل هم‌فشارها در شرق ایران، احتمـالاً گـرد و غبارها از بیابان‌های مرکزی به خراسان و مشهد وارد شده‌اند. در الگوی چهارم، جریـان مـداری بادهـای غربی در ایران وجود داشته‌است و پرفشار جنب حاره در عرض‌های جنوبی ایـران مشـاهده مـی‌شـود. همچنین در الگوی سطح زمین، کم‌فشار قوی با هم‌فشار بیش از ۹۹۹ هکتوپاسـکال در اروپـای شـرقی قرارداشته و زبانه‌های این کم‌فشار در شمال‌شرق ایران قابل مشاهده‌است و هم‌فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسـکال ناپایداری هوا در این منطقه و مشهد را پدید آورده‌است و احتمال دارد کم‌فشـارهای بیابـان‌هـای آسـیای مرکزی(شرق خزر و ترکمنستان) بر تراکم میزان ذرات در هوای شهر مشهد بیافزاینـد. چنانکـه در نقشـه الگوی ۵ شماره مشاهده‌شد، سردچال کم‌ارتفاع بادهای غربی با هم‌ارتفاع ۵۶۸۰ متری روی دریای خـزر و شمال‌شرق استقرار دارند و ناوه بادهای غربی با محور شمال- جنوب در ایـران وجـود دارد کـه هـم-ارتفاع ۵۶۵۰ متر در منطقه مطالعاتی قابل‌مشاهده‌است. در این شرایط منطقه ناپایدار جلوی ناوه در بیابان-های مرکزی ایران قرار دارد و کم‌فشارهای مرکز ایران، گرد و غبار را به شمال‌شرق و شهر مشهد انتقـال داده‌اند که در شکل ۱۲) تا (شکل ۲۱) نشان داده‌شده‌اند.



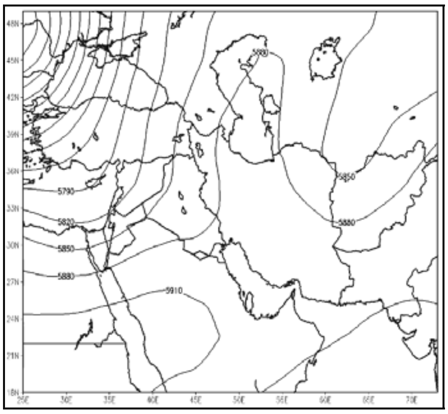
شکل ۱۲: **الگو 1(سطح slp)**



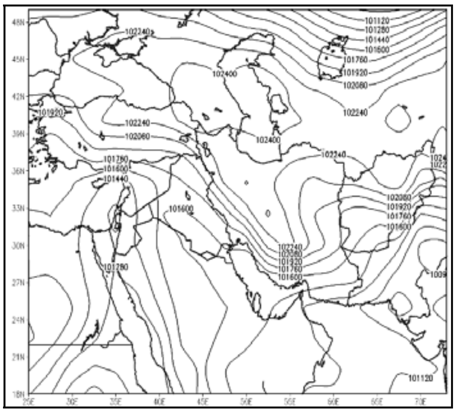
شکل ۱۳:**الگو۱(سطح** hp۵۰۰)



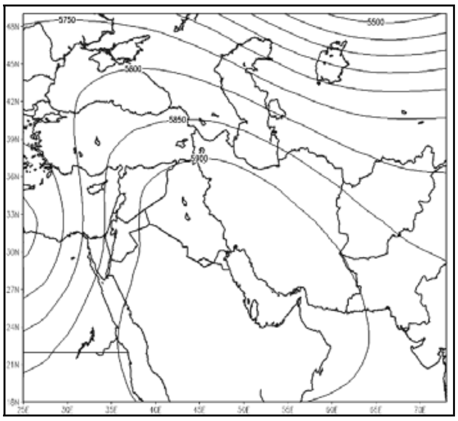
شکل ۱۴:الگو۲(سطح slp)



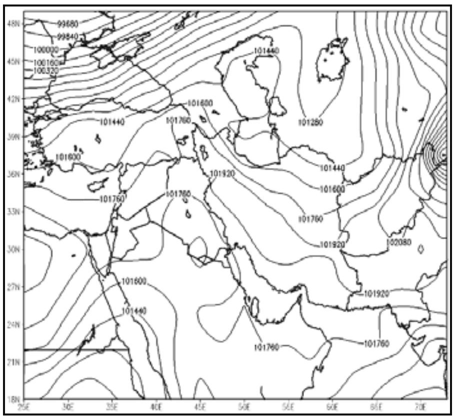
شکل ۱۵:الگو۲(سطح ۵۰۰hp)



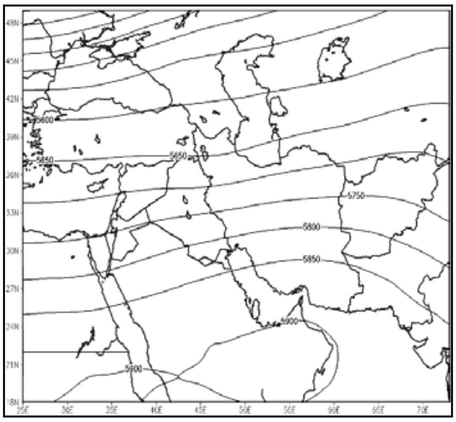
شکل ۱۶:الگو۳(سطح slp)



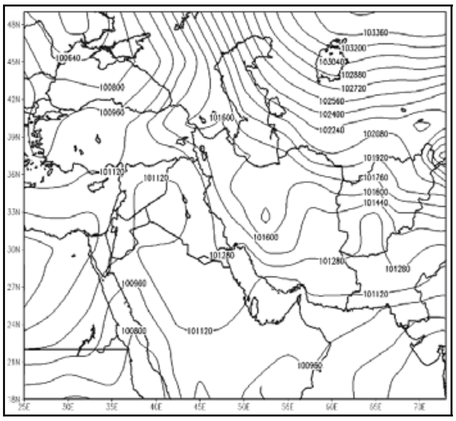
شکل ۱۷:الگو۳(سطح ۵۰۰hp)



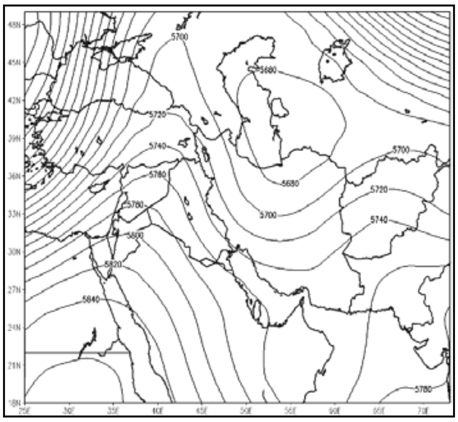
شکل ۱۸:الگو۴(سطح slp)



شکل ۱۹:الگو۴(سطح ۵۰۰hp)



شکل ۲۰: الگو۵(سطح slp)



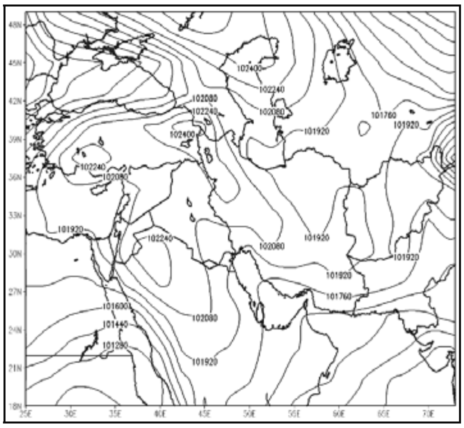
شکل ۲۱:الگو۵(سطح ۵۰۰hp)

ماخذ:نگارندگان، ۱۳۹۰

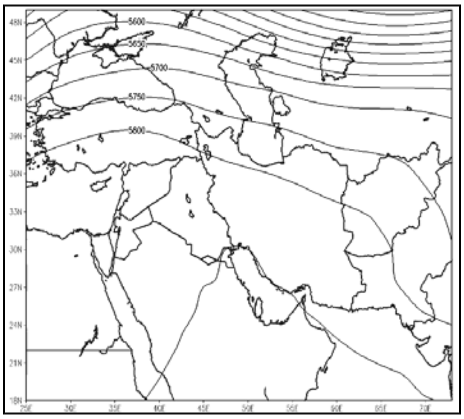
۴-۳- الگوهای فشار مونواکسیدکربن(زمستان)

در فصل زمستان بادهای غربی به عرض‌های جنوبی ایران پیشروی می‌کنند و تمرکز بالای آلاینده مونوکسیدکربن در شهرهای بزرگ را موجب می‌شوند. همان‌طوری‌که در الگوی اول مشاهده می‌شود، جریانات مداری بادهای غربی در عرض‌های شمالی ایران قابل‌مشاهده‌است و هم‌زمان در سطح زمین، پرفشاری با فشار مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال در زاگرس شمالی در شمال‌غرب ایران وجود دارد و کم‌فشاری در شمال‌شرق نقشه مشاهده می‌شود که زبانه هم‌فشار ۱۰۱۹ هکتوپاسکال آن، شمال‌شرق را زیرپوشش قرار داده‌است. این شرایط نشان می‌دهند توده‌های هوای سرد از عرض‌های شمالی به ایران پیشروی نموده‌اند و با سردی هوا و ایجاد پایداری، کاهش ارتفاع لایه آمیخته را به‌همراه‌داشته‌اند و آلودگی هوا در شهر مشهد را پدید آورده‌اند. در الگوی شماره ۲، بادهای مداری غربی تا جنوب ایران پیشروی کرده‌اند و خط هم‌ارتفاع ۵۶۵۰ متر از منطقه مورد مطالعه گذشته‌است. همچنین ناوه کم‌عمق بادهای غربی تا جنوب عراق ادامه‌یافته‌است. هم‌زمان در سطح زمین، مرکز کم‌فشاری در شمال عراق وجود دارد که زبانه‌های آن تا شهر مشهد امتداد پیداکرده‌است. این شرایط نشان‌دهنده ورود توده‌های هوا از مراکز سیکلون زایی دریای سیاه و کم فشارهای سوریه و ترکیه به ایران است که بیشتر

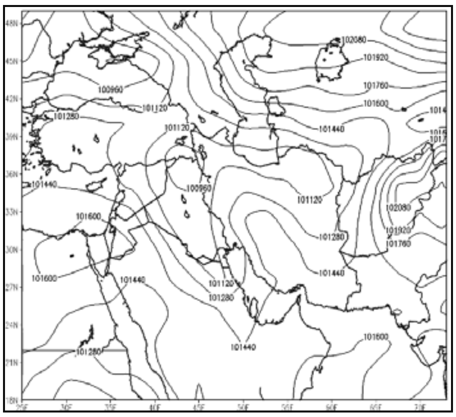
جبهه سرد این سیکلون‌ها به منطقه مطالعاتی آمده‌است و پایداری هوا و آلودگی‌های جوی در شهر مشهد را به‌دنبال داشته‌است. همچنین در الگوی سوم، سردچال بادهای غربی در مرکز اروپا، ناوه‌ای در مدیترانه شرقی تا شمال آفریقا را ایجاد کرده‌است. هم‌زمان پشته بلند بادهای غربی روی ایران دیده‌می‌شود. درموردالگوی سطوح بالای جو، مرکز کم‌فشار مدیترانه شرقی در سطح زمین، شکل‌گرفته‌است و زبانه‌ای از این کم‌فشار تا خراسان امتداد یافته‌است. در این شرایط جوی، توده‌های هوای ورودی از غرب ایران به منطقه موردمطالعه، هوای سرد را درپی-داشته‌اند و سبب کاهش دما و آلودگی هوا شده‌اند. ناوه عمیق بادهای غربی در شرق مدیترانه در الگوی شماره ۴ قابل مشاهده‌اند که تا شمال شرق آفریقا ادامه‌داشته و پشته آن در ایران تا عرض‌های بالا در روسیه امتداد یافته‌است. همچنین در سطح زمین مرکز کم‌فشار قبرس شکل-گرفته‌است و هم‌زمان پرفشار سیبری با هم‌فشار ۱۰۳۲ هکتوپاسکال در شمال دریاچه آرال وجود دارد که عمدتاً به شکل مانع در برابر توده‌های غربی در لایه‌های پایین جوی عمل می‌کند. همچنین در این الگو، هم فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال از مشهد گذرکرده‌است و فشردگی خطوط هم فشار، نشان دهنده‌شیب زیاد فشار در شرق دریای خزر بوده‌است. در این شرایط توده هوای سرد و خشک از شمال‌شرق به منطقه وارد شده و کاهش شدید دما، پایداری هوا، کاهش ارتفاع لایه آمیخته و تمرکز آلاینده‌های مونوکسیدکربن در شهر مشهد را به‌دنبال‌داشته-است. در الگوی شماره ۵، پشته بلند بادهای غربی روی ایران تا روسیه ادامه یافته و شرق ایران در جلوی پشته و عقب ناوه‌ای درارتباط با پدیده جوی سردچال روی افغانستان قرارگرفته-است. در سطوح بالای جوی هم ارتفاع ۵۶۵۰ متر در شرق شهر مشهد قرارداشته‌است که نشان‌دهنده هوای سرد در سطح زمین بوده‌است. در سطح زمین این الگو، پرفشار سیبری در شرق دریاچه آرال قرار داشته که با پرفشار درروی زاگرس ادغام شده‌اند و زبانه‌های پرفشار سیبری با هم فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال روی شهر مشهد قرار گرفته‌اند. این شرایط نشان‌دهنده ورود هوای سرد و خشک سیبری به منطقه از شمال و شمال شرق بوده‌است که کاهش شدید دما در سطح زمین، لایه آمیخته و افزایش آلاینده ها در سطوح پایین جو را به‌همراه‌داشته‌است که در شکل‌های (۲۲) تا (۳۱) نشان داده‌شده‌است.



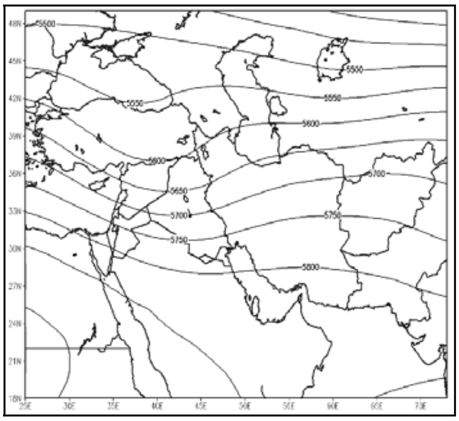
شکل ۲۲:الگو۱(سطح slp)



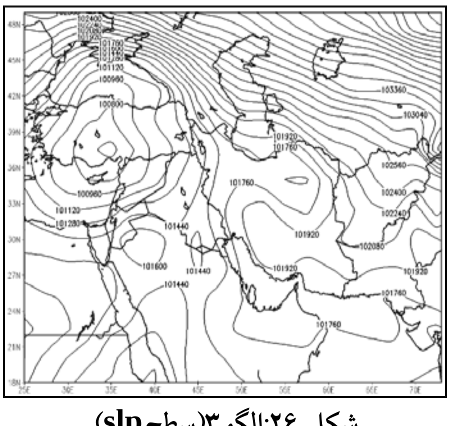
شکل ۲۳:الگو۱(سطح ۵۰۰hp)



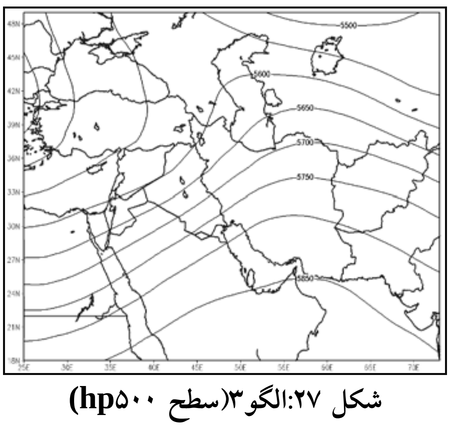
شکل ۲۴:الگو۲(سطح slp)



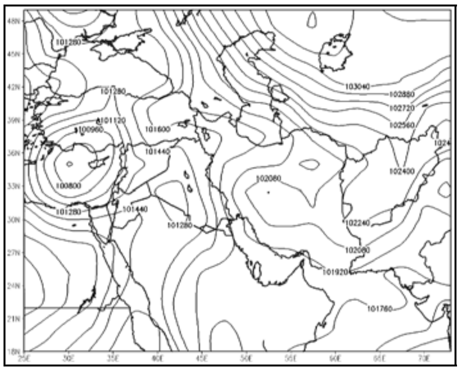
شکل ۲۵:الگو۲(سطح ۵۰۰hp)



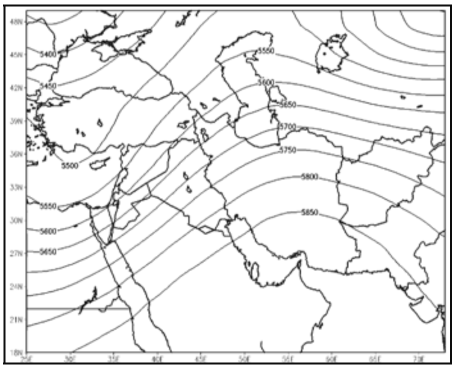
شکل ۲۶:الگو۳(سطح slp)



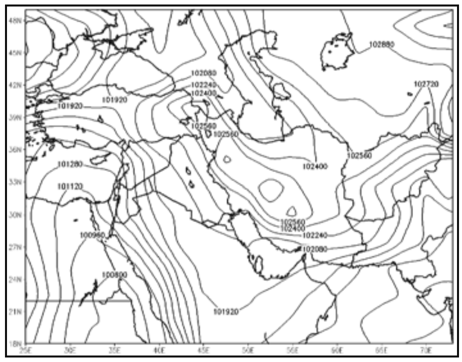
شکل ۲۷:الگو۳(سطح ۵۰۰hp)



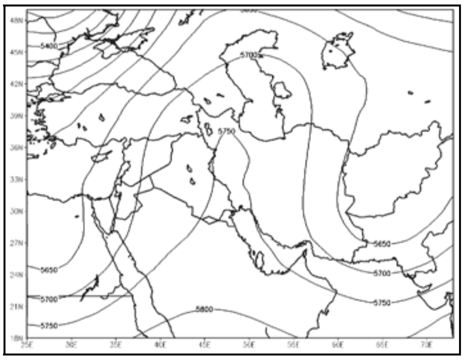
شکل ۲۸:الگو۴(سطح slp)



شکل ۲۹:الگو۴(سطح ۵۰۰hp)



شکل ۳۰:الگو۵(سطح slp)



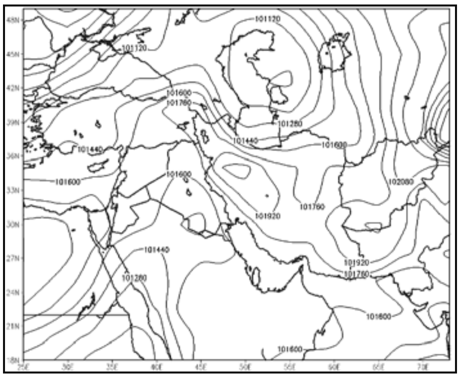
شکل ۳۱:الگو۵(سطح ۵۰۰hp)

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

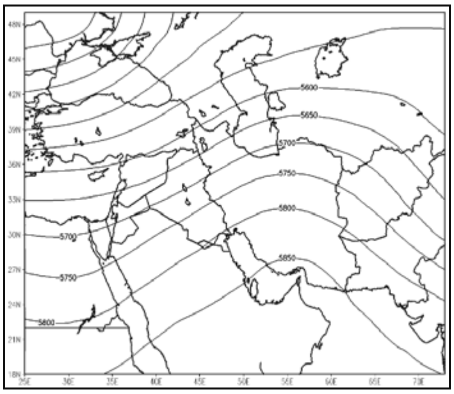
۴-۴- الگوهای فشار ذرات معلق(زمستان)

در فصل زمستان، پنج الگوی فشار همراه با هم آلودگی ذرات معلق در شهر مشهد را پدید می‌آورند. همان‌طورکه در الگوی ۱ مشاهده می‌شود، ناوه بادهای غربی در مدیترانه شرقی تا شمال آفریقا کشیده شده‌اند و پشته بادهای غربی در ایران قرار گرفته‌اند. درمورد سطوح بالای جوی، در سطح زمین یک مرکز کم‌فشار روی دریای خزر و یک مرکز پرفشار در زاگرس قابل‌مشاهده‌است. دراین حالت خط هم‌فشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال از شهر مشهد گذرکرده‌است. در این الگو، جریانات هوا در جنوب کم‌فشار خزر از ترکیه و آذربایجان در غرب دریای خزر به منطقه منتقل شده‌اند که با عبور از روی بیابان‌های نیمه شمالی ایران، ذرات گرد و غبار را پدید آورده و منجر به افزایش آلاینده‌ها شده‌اند. در الگوی دوم، ناوه عمیق بادهای غربی در شرق ایران با محوری از شمال دریاچه آرال تا جنوب ایران ادامه‌یافته‌است، به‌طوری‌که در پشت این ناوه

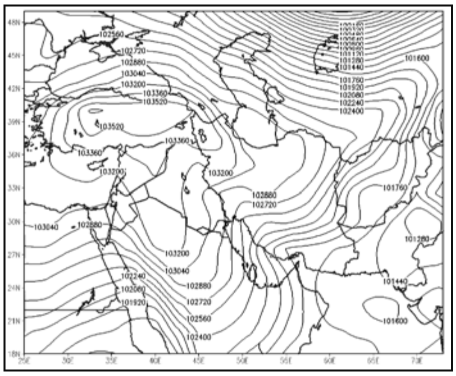
جریانات سرد از اروپای شرقی و عرض‌های بالا به شرق انتقال یافته‌اند. همچنین در الگوی سطح زمین یک پرفشار قوی در ترکیه با فشار مرکزی ۱۰۳۲ هکتوپاسکال تشکیل‌شده‌است که زبانه‌های آن تا آسیای مرکزی امتداد یافته و خط هم‌فشار ۱۰۲۷ هکتوپاسکال از مشهد گذرکرده‌است. در این الگو جریانات بعد از عبور از دریای خزر ناپایدار گشته‌اند و بعد از عبور از بیابان‌های شرق خزر به شمال‌شرق وارد شده‌اند. هم‌زمان با کاهش رطوبت در این توده‌ها، ذرات گرد و غبار به شمال‌شرق و شهر مشهد منتقل شده‌اند که آلودگی هوا را درپی‌داشته‌اند. در الگوی سوم، پشته بلند بادهای غربی در ایران مشاهده می‌شود که محور آن از شمال دریای خزر تا خلیج فارس ادامه یافته‌است، همچنین در شرق دریاچه آرال سردچال قوی با هم‌ارتفاع ۵۳۵۰ متر قابل مشاهده‌است. هم‌زمان در سطح زمین پرفشار قوی در شمال دریاچه آرال با هم‌فشار بالاتر از ۱۰۴۳ هکتوپاسکال قرار دارد که تا جنوب ایران پیشروی‌کرده‌است به‌طوری‌که هم‌فشار ۱۰۳۰ هکتوپاسکال از مشهد گذرکرده‌است. این شرایط نشان‌دهنده ورود توده‌های هوای سرد و خشک عرض‌های بالا به دریای خزر است که در این دریا تبدیل به کم‌فشار و توده هوای ناپایدار شده‌است و احتمال دارد تا رسیدن به خراسان و شهر مشهد رطوبت خود را از دست‌داده و باعث حمل ذرات گرد و غبار در سطح زمین شوند. در سطوح بالای جوی الگوی چهارم، دو سردچال بادهای غربی در شرق مدیترانه و شمال افغانستان و قزاقستان نمایان شده‌است که این الگوها طی چند روز مداوم، با هوای ناپایدار در سطح زمین همراه بوده‌اند. در الگوی سطوح بالا، شهر مشهد و خراسان در مسیر جریانات در بین این دو سردچال قرار دارند. هم‌زمان در الگوی سطح زمین دو مرکز پرفشار به ترتیب در شرق دریاچه آرال(پرفشار سیبری) و دیگری در شمال‌غرب ایران با یکدیگر ادغام شده‌اند و جریانات هوا از غرب و شمال‌غرب به خراسان وارد شده‌اند. این توده‌های سرد در مسیر خود از روی بیابان‌ها، گرد و غبار را به شهر آورده‌اند. در الگوی پنجم ذرات معلق در فصل زمستان، جریانات مداری بادهای غربی در ایران وجود داشته‌اند و هم‌زمان ناوه خمیده‌ای با محور غربی– شرقی در جنوب دریای خزر مشاهده‌شده‌است. همچنین خطوط شکسته منحنی‌های هم ارتفاع در شمال خراسان نشان‌دهنده جبهه‌های چرخندی و ناپایداری جوی است. هم‌زمان در سطح زمین مرکز کم‌فشار با فشار مرکزی ۱۰۰۳ هکتوپاسکال در خراسان و روی شهر مشهد وجود دارد که ناپایداری را در این منطقه پدید-آورده‌است. در این الگو جریان‌های جوی در شمال مرکز کم‌فشار، ذرات گرد و غبار از بیابان‌های ترکمنستان را به مشهد انتقال داده‌اند که در شکل ۳۲) تا (شکل ۴۱) نشان داده شده است.



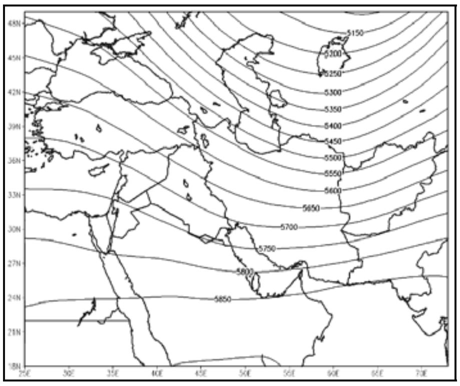
شکل ۳۲:الگو۱(سطح slp)



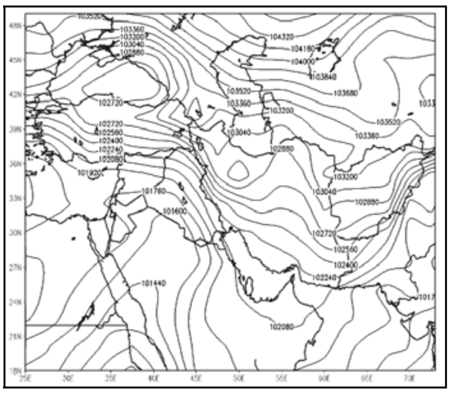
شکل ۳۳:الگو۱(سطح ۵۰۰hp)



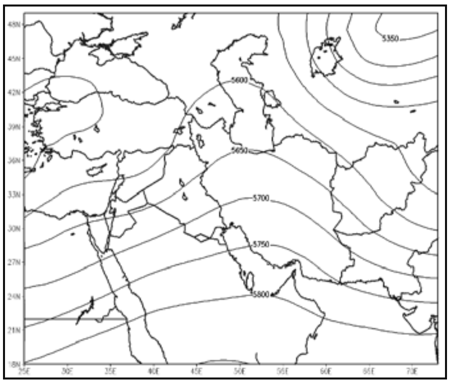
شکل ۳۴:الگو۲(سطح slp)



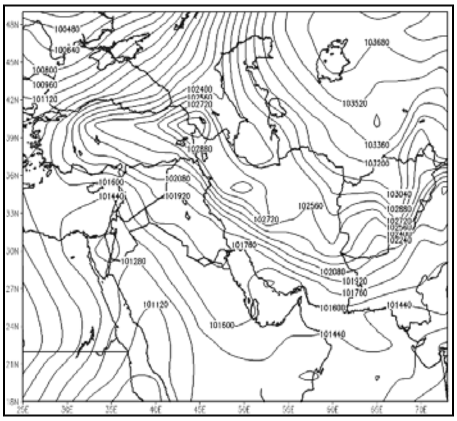
شکل ۳۵:الگو۲(سطح ۵۰۰hp)



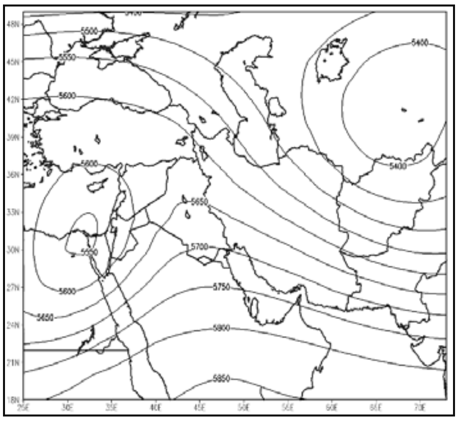
شکل ۳۶:الگو۳(سطح slp)



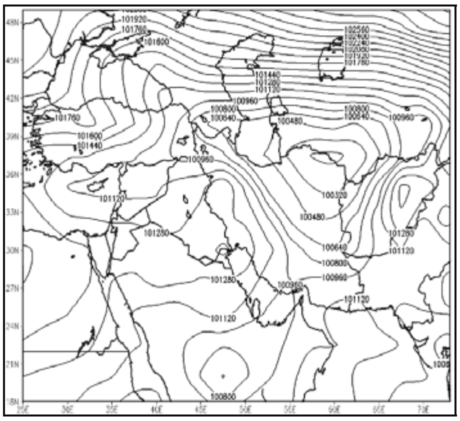
شکل ۳۷:الگو۳(سطح ۵۰۰hp)



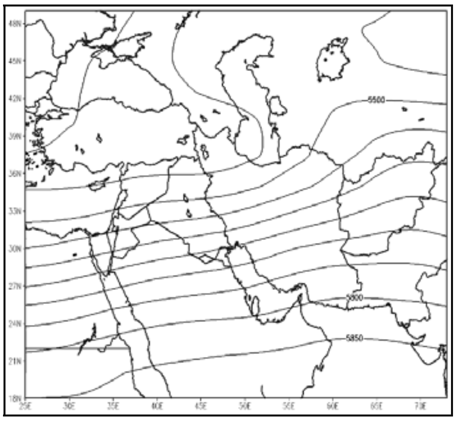
شکل ۳۸:الگو۴(سطح slp)



شکل ۳۹:الگو۴(سطح ۵۰۰hp)



شکل ۴۰:الگو۵(سطح slp)



شکل ۴۱:الگو۵(سطح ۵۰۰hp)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج همدیدی آلودگی‌های جوی در فصل زمستان و پاییز برای دو آلاینده مونوکسیدکربن و ذرات معلق در شهر مشهد نشان‌دهنده آن است که الگوهای جوی سطوح بالا و سطح زمین نقش مهمی در ایجاد آلودگی‌های هوای شهر مشهد دارند. درصورتی‌که الگوهای جوی اصلی فصل پاییز و زمستان برای آلاینده مونوکسیدکربن، ناوه بادهای غربی شمال و شرق دریای خزر در سطوح بالای جو، پرفشار سیبری در شرق دریاچ آرال و واچرخندهای مهاجر از اروپای شرقی و شمال‌غرب ایران در

الگوهای فشار سطح زمین، عوامل اصلی همدیدی می‌باشند. این الگوها در ارتباط با هم ورود موج-های سرمایی، کاهش شدید دما، کاهش لایه آمیخته جو(لایه مرزی جو)، افزایش و تمرکز زیاد آلاینده مونوکسید کربن در نزدیکی سطح زمین در شهر را موجب می‌شوند. درحالی‌که بیشتر جریانات از سمت شمال، شمال‌شرق و شمال‌غرب در این دو فصل، منجر به تمرکز آلودگی‌های هوا در شهر شده‌اند. همچنین ناوه مرکزی مدیترانه، کم‌فشارهای ترکمنستان و قزاقستان، سردچال‌های روی دریای خزر با ورود توده‌های گرد و غبار از بیابان‌های فلات توران شامل قره‌قوم، سرخس و بیابان‌های مرکزی ایران، آلودگی‌های ذرات معلق برای دو فصل پاییز و زمستان در شهر مشهد را سبب می‌شوند. درنهایت به سازمان‌های مربوطه پیشنهاد می‌شود، آمارها را به دقت گردآوری کنند؛ این آمارها برای داشتن یک جامعه سالم ضروری است چراکه براساس این آمارها و بررسی نقشه‌های همدید، می-توان روزهای آلوده را تعیین کرد و اقدامات لازم را انجام داد.

کتابنامه

۱. بیدختی، علی اکبر و شرعی پور، زهرا. (۱۳۸۸).***«شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا و مطالعه موردی: شهر تهران»***. مجله محیط شناسی. ۵۲ :صص۱۴-۱.

۲. حجازی زاده، زهرا. (۱۳۷۶). ***«بررسی همدیدی نرمال پرفشار جنب حاره»***. رشد آموزش جغرافیا.۴۵: صص ۲۰-۲۵.

۳. رنجبر سعادت‌آبادی، عباس و محمدیان محمدی، لیلا. (۱۳۸۹). ***«مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران»***.پژوهش‌های جغرافیای طبیعی.۷۲: صص۱۲۹-۱۱۱.

۴. شم آبادی، احمد. (۱۳۸۶)، حاشیه نشینی در کلانشهر مشهد با تاکید بر مدیریت شهری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. صفوی، سید یحیی و علیجانی، بهلول. (۱۳۸۵). ***«بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران»***. پژوهش های جغرافیایی. ۵۸: صص ۱۱۲-۹۹.

۶. علیجانی، بهلول. (۱۳۸۵). ***اقلیم شناسی سینوپتیک***. چاپ دوم. تهران: انتشارات سمت.

۷. علیجانی، بهلول و هوشیار، محمود.(۱۳۸۷). ***«شناسایی الگوهای همدیدی سرماهای شدید شمال غرب ایران»***. پژوهش های جغرافیای طبیعی.۶۵: صص ۱-۱۶.

8. Ccoyllo S.O.R. & Andrade M.F. (2002). ***The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil.*** Environmental Pollution. 116 (2): 257-263.
9. Chen Z.C., SY.L, Guo, J., Wang, X. & Chen, W. (2008). ***DS. Relationship between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China***. *Atmospheric Environment,* **42:** 6078– 6087.
10. Flocas, H., Kelessis, A., Helmis, C., Petrakakis, M., Zoumakis, M & Pappas, K.(2009). ***Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area***. Theor Appl Climatol .95: 265–277.
11. Hosseinzade, S. R. (2004). ***Environmental crises in the metropolises of Iran***. Sustainable city III. England: Wit press.
12. Makra L., Mika J., Bartzokas A., Be´czi R., Borsos E. & Su¨meghy, Z.(2006). ***An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special interest in air pollution levels***. Meteorol Atmos Phys .92: 115–137.
13. Tu, J., Xia Z., Wang H. & Li, W.(2007).***Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects atan urban site in China***, Atmos . 85: 310-337.
14. Yarnal, B. (1993).***Synoptic climatology in environmental analysis, a primer***. London and Florida: Belhaven press.